

STIMA DEI LIVELLI A LUNGO TERMINE DEL RUMORE DA TRAFFICO AUTOSTRADALE

G. Brambilla (1), F. Lo Castro (1), A. Cerniglia (2), P. Verardi (1)

1) CNR-Istituto di Acustica "O.M. Corbino", Roma

2) 01dB Italia, Milano

Sommario

Presso il CNR-IDAC è attivo da gennaio 2006 un sistema di monitoraggio in continuo del rumore ambientale (spettro a 1/3 di ottava e L_{Aeq} globale in dB(A) acquisiti ogni secondo), posto a circa 240 m da una autostrada e in un'area con terreno prevalentemente assorbente, assenza di ostacoli e pochi eventi sonori non attribuibili al traffico autostradale (prevalentemente sorvoli aerei).

Dopo la validazione dei dati acustici acquisiti al 31 dicembre 2006 è stato ottenuto un insieme di 271 andamenti temporali di L_{Aeq1s} in continuo nelle 24 ore.

Dai valori giornalieri calcolati di L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} e L_{den} è stato determinato il corrispondente valore a lungo termine, mediato sui 271 giorni. Sono state quindi formulate alcune tecniche di campionamento temporale basate su rilevamento continuo o discontinuo, determinandone l'accuratezza della stima dei valori a lungo termine.

1. Introduzione

Nelle configurazioni ambientali rientranti nel campo di applicazione del D.Lgs. n. 194/2005 di recepimento della Direttiva europea 2002/49/CE, i valori dei descrittori acustici L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} e L_{den} devono essere rappresentativi su base annuale. Questo requisito induce a privilegiare il calcolo dei descrittori con modelli specifici per tipologia di sorgente sonora che ne consentono una rapida, e abbastanza agevole, determinazione piuttosto che procedere a monitoraggi continui estesi per un così lungo periodo di tempo. Questi ultimi, infatti, richiedono ingenti, e spesso non giustificate, risorse economiche e di strumentazione. A questo svantaggio si aggiunge la possibilità di funzionamenti non corretti o avarie della strumentazione durante il monitoraggio annuale, nonché la presenza di eventi sonori anomali o non riconducibili alla sorgente sonora di interesse. Per contro con il monitoraggio continuo si tiene conto degli effetti sul rumore ambientale derivanti dalla variabilità dell'emissione sonora della sorgente di interesse e dell'influenza delle

condizioni meteorologiche nei contesti ambientali ove queste incidono sulla propagazione sonora (aree scarsamente edificate e grandi distanze sorgente-ricettore).

Una soluzione di ragionevole compromesso consiste nell'impiegare tecniche di campionamento temporale, mediante le quali stimare direttamente il valore a lungo termine dei descrittori acustici. Alcune indicazioni operative e criteri metodologici per la formulazione di queste tecniche sono reperibili in letteratura [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Nell'indagine sperimentale descritta nel presente lavoro sono esaminate alcune tecniche di campionamento temporale del rumore ambientale, distinguibili in monitoraggio continuo o discontinuo (ad intervalli), e se ne determina l'accuratezza nella stima del valore a lungo termine del livello giorno-sera-notte L_{den} .

2. Metodologia di indagine

Dal 12 gennaio 2006 è attivo presso l'Istituto di Acustica del CNR un sistema di monitoraggio in continuo del rumore ambientale, con dati consultabili in tempo reale all'indirizzo www.citynoise.net/homes/idac, ubicato a circa 240 m da un'autostrada e in un'area con terreno prevalentemente assorbente, con assenza di ostacoli e pochi eventi sonori non attribuibili al traffico autostradale (prevalentemente sorvoli aerei). Il sistema [7] acquisisce ogni secondo lo spettro a 1/3 di ottava e il livello globale L_{Aeq} in dB(A). Alla data del 31 dicembre 2006 è stato raccolto un insieme di 297 andamenti temporali di L_{Aeq1s} in continuo nelle 24 ore, distribuito come riportato nella tabella 1. Il frazionamento del database in quadrimestri, invece dei singoli mesi o trimestri, è stato preferito per l'analisi statistica per avere una sufficiente dimensione campionaria dei dati.

Tabella 1 – Distribuzione delle giornate per le quali erano disponibili i dati acustici raccolti dal sistema di monitoraggio

Mese	Ge.	Fe.	Ma.	Ap.	Ma.	Gi.	Lu.	Ag.	Se.	Ot.	No.	Di.	Tot.
Giorni	12	2	23	30	29	28	31	31	30	25	25	31	297
	Quadrimestre 1				Quadrimestre 2				Quadrimestre 3				
	67				119				111				

L'analisi dei dati disponibili ha mostrato che per 26 giornate erano presenti nell'andamento temporale del rumore ambientale anomalie dovute ad eventi sonori di lunga durata non riconducibili al traffico autostradale. I dati acustici di queste giornate sono stati scartati ai fini del presente studio che è stato condotto, quindi, su 271 andamenti temporali di L_{Aeq1s} nelle 24 ore, per complessive 6504 ore.

Le tecniche di campionamento temporale sono distinguibili sostanzialmente in due tipologie, ossia:

- 1) campionamento continuo, nel quale si esegue un monitoraggio continuo per un unico tempo di misurazione TM in genere molto più breve del tempo a lungo termine TL ($TM \ll TL$);
- 2) campionamento discontinuo, nel quale il tempo di misurazione TM è frazionato in un prefissato numero di intervalli anche di durata e cadenza diverse tra loro.

Come noto, l'accuratezza nella stima del descrittore acustico a lungo termine diminuisce all'aumentare della variabilità temporale del rumore e al decrescere del rapporto TM/TL, spesso espresso in %.

Nel presente lavoro sono state esaminate alcune tecniche di campionamento temporale, scelte tra quelle di uso più frequente in relazione anche alle prescrizioni della

legislazione italiana vigente per il rumore da traffico stradale. In particolare è stato considerato il rilevamento del rumore ambientale secondo le seguenti sei modalità:

- 1) sette giorni consecutivi (168 ore) nell'anno, con diverso giorno di inizio della settimana;
- 2) sette giorni consecutivi nei singoli quadrimestri (gennaio-aprile; maggio-agosto; settembre-dicembre), con diverso giorno di inizio della settimana;
- 3) monitoraggio continuo di 24 ore dalle 06 alle 06 del giorno successivo;
- 4) sette giorni non consecutivi (uno per ciascun giorno della settimana) scelti nell'anno mediante W estrazioni casuali senza ripetizione dal database, ripetute per N volte, essendo W il numero minimo di ciascun giorno della settimana nel database;
- 5) come nella modalità 4), ma per ciascun quadrimestre mediante 8, 16 e 10 estrazioni casuali senza ripetizione dal database del primo, secondo e terzo quadrimestre, ripetute per 10 volte;
- 6) sette giorni non consecutivi distribuiti in ciascun quadrimestre con tempo di misurazione continuo di 48 o 72 ore con il requisito di mantenere la coppia dei giorni sabato e domenica distinti dalle altre possibili aggregazioni per la peculiarità degli andamenti temporali di L_{Aeq} in questi due giorni (tabella 2).

Tabella 2 – Distribuzione del tempo di misurazione per la tecnica di campionamento 6

Tipo	Quadrimestre 1	Quadrimestre 2	Quadrimestre 3
1	Lu-Ma	Me-Gi-Ve	Sa-Do
2	Lu-Ma-Me	Gi-Ve	Sa-Do
3	Sa-Do	Lu-Ma	Me-Gi-Ve
4	Sa-Do	Lu-Ma-Me	Gi-Ve
5	Me-Gi-Ve	Sa-Do	Lu-Ma
6	Gi-Ve	Sa-Do	Lu-Ma-Me

Per ciascuna modalità di campionamento sono stati calcolati i descrittori acustici L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} e L_{den} , confrontati con i corrispondenti valori ottenuti utilizzando l'intero database al fine di valutare l'accuratezza della stima conseguita con ciascuna modalità.

3. Risultati e discussione

I livelli equivalenti dei descrittori acustici ottenuti considerando tutti i 271 andamenti temporali di $L_{Aeq,h}$ nelle 24 ore, per complessive 6504 ore, e quelli per i singoli quadrimestri sono riportati nella tabella 3.

Tabella 3 – Valori dei descrittori acustici in dB(A) per il tempo a lungo termine di 6504 ore e per i singoli quadrimestri

	L_{Aeq} diurno (06-22)	L_{Aeq} notturno (22-06)	L_{day} (06-20)	$L_{evening}$ (20-22; + 5 dB)	L_{night} (22-06; + 10 dB)	L_{den}
271 giornate	55,5	50,8	55,7	58,9	60,8	58,3
Quadrimestre 1	56,0	50,8	56,2	58,8	60,8	58,5
Quadrimestre 2	55,3	50,8	55,5	58,7	60,8	58,2
Quadrimestre 3	55,5	50,8	55,7	59,1	60,8	58,4

Appare evidente la ridotta differenza nei valori dei descrittori tra il lungo termine e i singoli quadrimestri, evidenziando come il rumore da traffico veicolare nel sito esaminato presenti un'accentuata ripetibilità nel tempo.

Nella figura 1 è riportato l'andamento nelle 24 ore del livello equivalente orario $L_{Aeq,h}$ per ciascuno dei 271 giorni presenti nel database (linee blu), nonché per singola ora la media logaritmica (linea rossa) e quella aritmetica (linea verde).

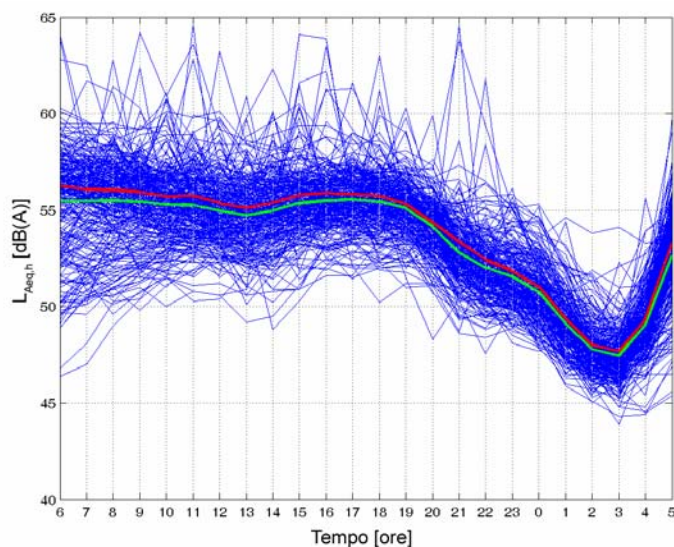


Figura 1 – Andamenti di $L_{Aeq,h}$ nelle 24 ore per le 271 giornate; media logaritmica (in rosso) e aritmetica (in verde)

A fini comparativi, nella figura 2 sono riportati gli andamenti temporali, per ciascun giorno della settimana, della media aritmetica per singola ora confrontati con il corrispondente valore a lungo termine (linea tratteggiata verde). Gli andamenti del livello $L_{Aeq,h}$ nel sabato e nella domenica sono chiaramente diversi rispetto agli altri giorni e alla media aritmetica annuale, specialmente per la fascia oraria 06-16.

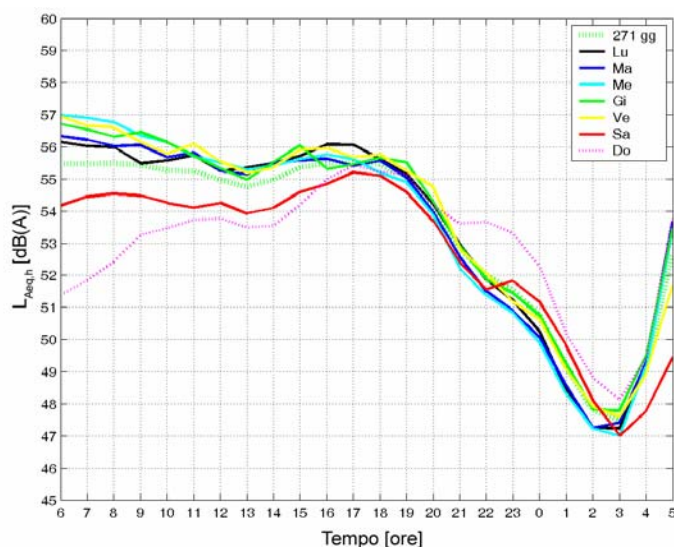


Figura 2 – Andamenti giornalieri di $L_{Aeq,h}$ medio suddivisi per giorno

I risultati ottenuti per la differenza ΔL_{den} tra valore di L_{den} calcolato sull'intero database (media logaritmica) e quello ottenuto con le varie modalità di campionamento sono sintetizzati nel seguito.

3.1 Sette giorni consecutivi nell'anno (modalità 1)

Nella figura 3 è riportato il box plot delle differenze ΔL_{den} ottenute considerando tutte le settimane disponibili nel database, diversificate per giorno di inizio. Appare evidente come il giorno di inizio della settimana non sia rilevante ai fini dell'accuratezza della stima del valore di lungo termine che, nella maggioranza dei casi, è contenuta in ± 1 dB, risultato interessante considerata la notevole economia del tempo di misurazione (rapporto TM/TL = 2,58%).

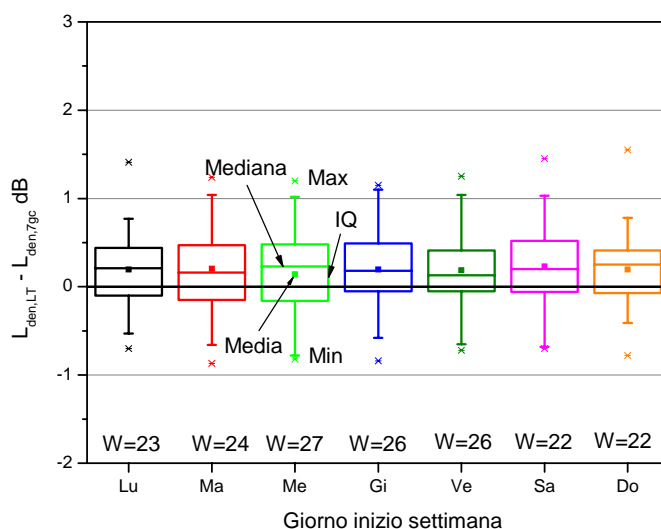


Figura 3 - Box plot delle differenze ΔL_{den} per rilevamento continuo di sette giorni consecutivi nell'anno, diversificato per giorno di inizio della settimana (W = numero delle settimane considerate)

3.2 Sette giorni consecutivi nei singoli quadrimestri (modalità 2)

L'analisi delle settimane con monitoraggio continuo nel singolo quadrimestre, pur se poco significativa per l'inevitabile ridotta dimensione campionaria dei dati disponibili, non evidenzia sostanziali differenze rispetto al campionamento temporale precedente. Dalla figura 4 si osserva, comunque, una tendenza più accentuata a sottostimare il valore di L_{den} sul lungo termine ($\Delta L_{den} > 0$) nel quadrimestre maggio-agosto ove, verosimilmente, si registra un minore flusso veicolare.

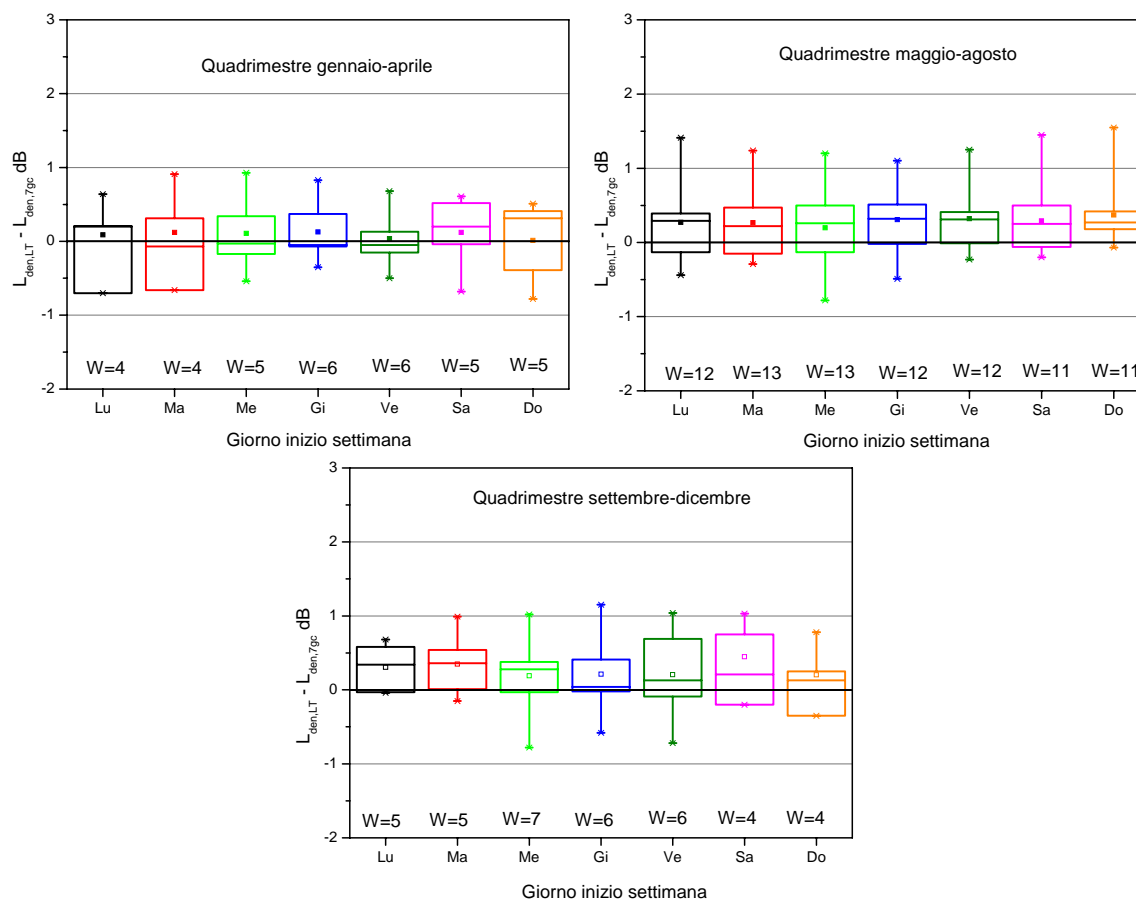


Figura 4 - Box plot delle differenze ΔL_{den} per rilevamento continuo di sette giorni consecutivi nei singoli quadrimestri, diversificato per giorno di inizio della settimana (W = numero delle settimane considerate)

3.3 Monitoraggio continuo di 24 ore nell'anno (modalità 3)

Questa modalità di campionamento temporale si distingue dalle altre esaminate per la maggiore economia del tempo di misurazione ($TM = 24$ ore; $TM/TL = 0,37\%$).

Dallo scarto tipo delle differenze per singola ora tra valore a lungo termine di L_{den} sui 271 giorni e corrispondente valore per singolo giorno, riportato nella tabella 4, si evince che il lunedì è il giorno con andamento di $L_{Aeq,h}$ più simile a quello a lungo termine.

Tabella 4 - Scarto tipo tra valore a lungo termine di L_{den} orario e corrispondente valore per singolo giorno

Giorno	Lu	Ma	Me	Gi	Ve	Sa	Do
Scarto quadratico medio [dB]	0,40	0,48	0,68	0,48	0,59	1,12	1,79

Nella figura 5 è riportato il confronto tra le stime di L_{den} a lungo termine conseguibili con questa modalità di campionamento (limitatamente al lunedì per quanto sopra detto) con quelle della settimana di sette giorni continuativi. Comunque sia appare evidente la minore accuratezza del rilevamento continuo nelle 24 ore.

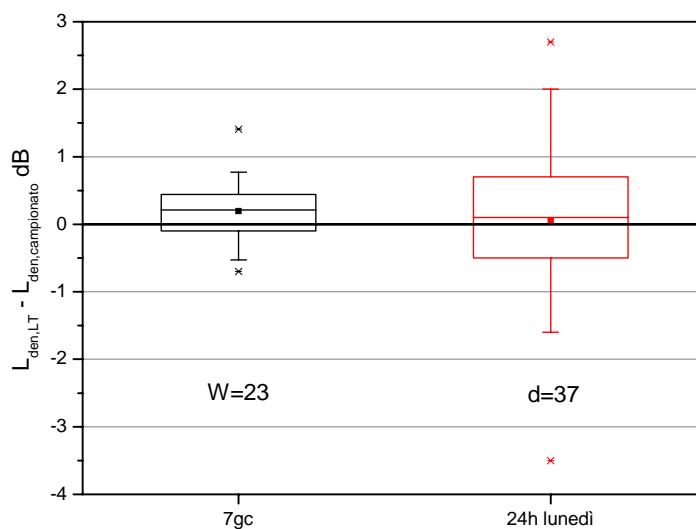


Figura 5 - Box plot delle differenze ΔL_{den} per rilevamento continuo in 7 giorni e continuo nelle 24 ore (lunedì)

3.4 Sette giorni non consecutivi nell'anno e nei singoli quadrimestri (modalità 4 e 5)

Il D.M. Ambiente 16 marzo 1998 relativamente al rumore stradale richiede un monitoraggio "... eseguito per un tempo di misura non inferiore ad una settimana.", senza specificare se tale settimana debba essere costituita da sette giorni consecutivi o non consecutivi (uno per ogni giorno della settimana). Le differenze tra queste due modalità di campionamento nella stima di L_{den} a lungo termine sono riportate nel box plot in figura 6 ove, per sinteticità, sono state considerate solo le settimane con inizio di lunedì e una singola estrazione per le settimane con giorni non consecutivi. La discontinuità settimanale ha permesso di aumentare il numero di settimane disponibili per l'analisi statistica all'interno del database (36 invece di 23) e per singolo quadrimestre. In generale si osserva che nella maggioranza dei casi l'ampiezza dell'intervallo interquartile è inferiore per la settimana formata da giorni non consecutivi. Il campionamento discontinuo, inoltre, presenta il vantaggio di una maggiore probabilità per la compatibilità con i requisiti richiesti per il rilevamento del rumore stradale (assenza di pioggia, velocità del vento inferiore a 5 m/s,). Per verificare l'influenza sui risultati da parte dell'estrazione eseguita, quest'ultima è stata ripetute per $N = 10$ volte. Come mostrato nella figura 7, la variabilità dei risultati ottenuti con le 10 ripetizioni sull'intero database è molto contenuta, a conferma dell'indipendenza dei risultati dall'estrazione scelta.

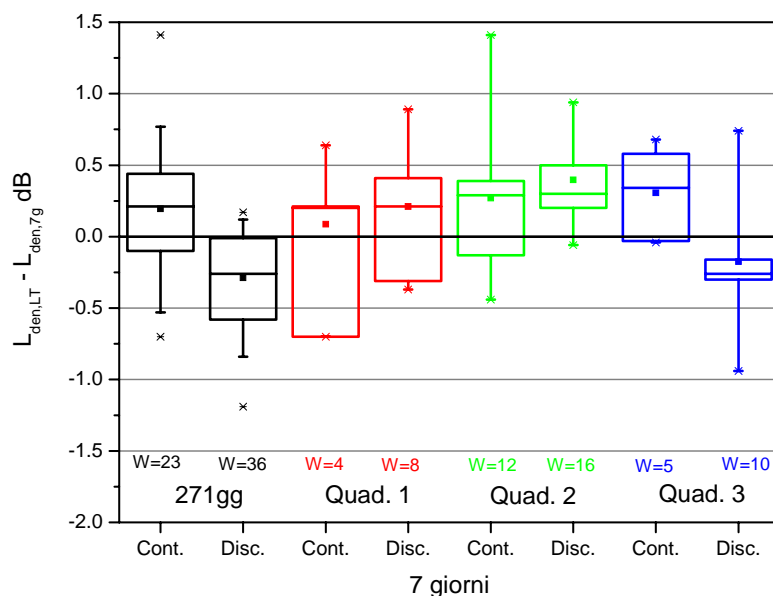


Figura 6 - Box plot delle differenze ΔL_{den} per rilevamento continuo (Cont.) e discontinuo (Disc.) nei sette giorni (W = numero delle settimane considerate)

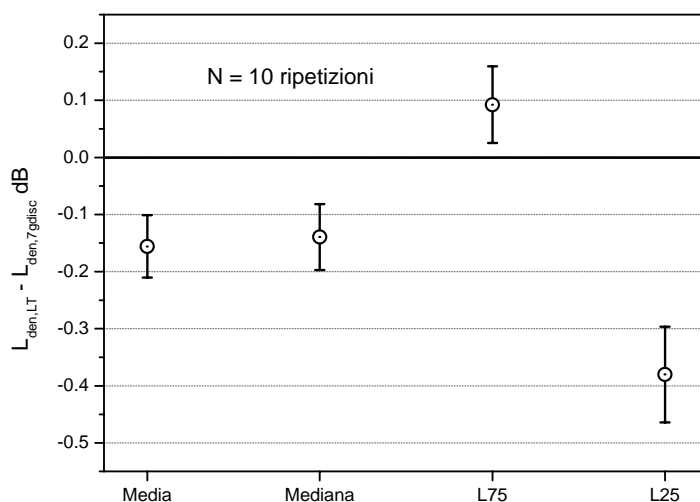


Figura 7 – Media e scarto tipo dei valori dei parametri statistici ottenuti per le 10 estrazioni di settimane con giorni non consecutivi sull'intero database

3.5 Sette giorni non consecutivi distribuiti nei quadrimestri (modalità 6)

Questa modalità di campionamento, intermedia tra quelle sopra esposte in quanto prevede coppie o terne di giorni con rilevamento in continuo e settimana, comunque, discontinua, è molto proficua dal punto di vista logistico del rilevamento in quanto riduce il numero di installazioni della strumentazione sul campo e, nel contempo, distribuisce il tempo di misurazione sull'intero anno. I risultati ottenuti sono riportati nella figura 8 per ciascuno dei sei tipi di aggregazione dei giorni continuativi (vedi tabella 2) e confrontati con quelli relativi alla modalità di campionamento 1.

Si osserva una evidente differenza tra valori medi e mediani per i sei tipi scelti, diversamente da quanto ottenuto per le precedenti modalità di campionamento. La

statistica dei risultati conseguiti con il tipo 6 mostra la maggiore somiglianza con quella ottenuta con la modalità di campionamento di sette giorni continuativi (box nero in figura 8). Complessivamente i risultati sono i meno soddisfacenti in termini di accuratezza nella stima del valore a lungo termine di L_{den} .

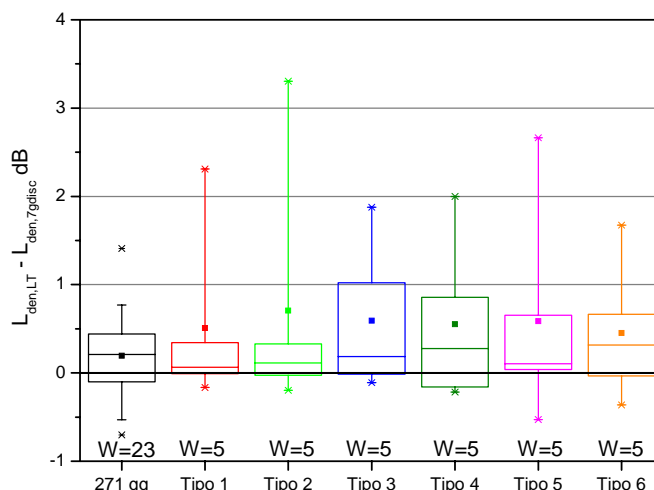


Figura 8 - Box plot delle differenze ΔL_{den} per rilevamento continuo (box nero) e discontinuo per i 6 tipi di aggregazione dei giorni

3.6 Confronto tra le varie modalità di campionamento temporale

Dal punto di vista applicativo è interessante conoscere la probabilità che il valore stimato di L_{den} a lungo termine tramite quello a breve termine sia contenuto entro un prefissato intervallo di accuratezza. Questa probabilità per alcuni dei campionamenti esaminati è riportata nella figura 9 per classi di incertezza con ampiezza di 0,5 dB. È evidente, come atteso, che la probabilità aumenta all'aumentare dell'ampiezza dell'intervallo di incertezza. Il confronto mostra come il campionamento settimanale discontinuo (modalità 4) risulta più efficiente rispetto alla settimana in continuo (modalità 1) e al monitoraggio per sole 24 ore (modalità 3).

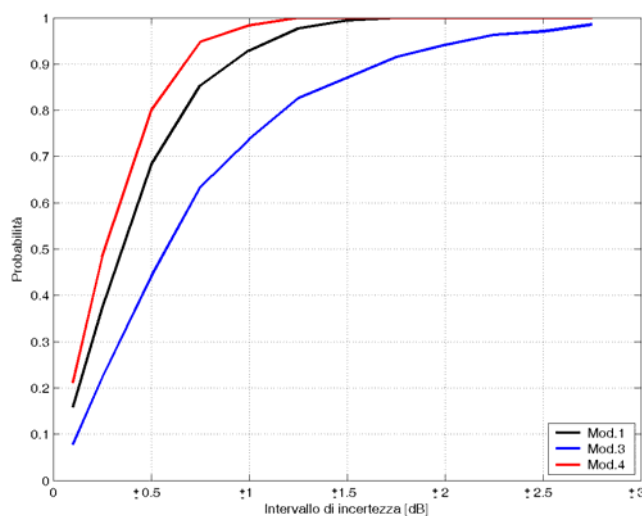


Figura 9 – Probabilità della stima di $L_{den,LT}$ in funzione dell'ampiezza dell'intervallo di incertezza e per modalità di campionamento

4. Conclusioni

Pur se l'insieme dei dati esaminato si riferisce ad un solo sito, peraltro caratterizzato da una contenuta variabilità dei livelli di rumore a seguito della natura del rumore autostradale, è rilevante la sua dimensione campionaria di 271 giorni, abbastanza significativa dell'andamento annuale. Ciò ha permesso la valutazione dell'accuratezza di diverse modalità di campionamento temporale (continue e discontinue) per la stima del valore a lungo termine di L_{den} .

I risultati ottenuti hanno evidenziato che la settimana formata da sette giorni non consecutivi (uno per ciascun giorno della settimana) scelti nell'anno (modalità 4) appare la più proficua, non solo per la migliore accuratezza della stima di L_{den} , ma anche perché presenta il vantaggio di una maggiore probabilità per la compatibilità con i requisiti richiesti per il rilevamento del rumore stradale.

Analisi su altri siti caratterizzati da diverse tipologie di sorgente sonora e differenti variabilità nel tempo dei livelli di rumore ambientale sono in corso, al fine di poter estendere la rappresentatività dei risultati ad una casistica più ampia.

Bibliografia

- [1] Kuehner D., "Long-term Leq Errors Expected and how long to Measure (Uncertainty and Noise Monitoring)", Proceedings Forum Acusticum 2005, pp 1269-1274, Budapest, 2005.
- [2] Makarewicz R., Gołbiewski R., "Estimation of the A-Weighted Long Term Average Sound Level", ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA Vol. 92, pp 574-577, 2006.
- [3] Ejsmont J.A., Ronowski G., "Short term versus long term traffic noise measurements", Proceedings Inter-Noise 2006, Honolulu, 2006.
- [4] Gaja E., Gimenez A., Sancho S., Reig A., "Sampling techniques for the estimation of the annual equivalent noise level under urban traffic conditions", Applied Acoustics Vol. 64, pp 43-53, 2003.
- [5] Alberola J., Flindell I.H., Bullmore A.J., "Variability in road traffic noise levels", Applied Acoustics Vol. 66, pp 1180-1195, 2005.
- [6] IMAGINE Report, "Determination of L_{den} and L_{night} using measurements", Report IMA32TR-040510-SP08, 2006.
- [7] Cerniglia A., Brambilla G., Verardi P., "Real time noise monitoring: un approccio innovativo al monitoraggio acustico ambientale", Atti Convegno AIA 2006, pp 69-74, Ischia, 2006.